

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní

Ing. Lenka Ostřanská

Řešení problematiky odstraňování nečistot v linkách pro zpracování sběrového papíru

Solution of problematics of removing dirt in the waste paper processing

Autoreferát doktorské disertační práce

Školící pracoviště: VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování

Školitel: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Studijní program: P23 01 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302V019 Stavba výrobních strojů a zařízení

Oponenti: prof. Ing. Věra Voštová, CSc.
ČVUT v Praze

prof. Ing. Vojtěch Dirner, CSc.
VŠB - TU Ostrava

Ing. Jaroslav Jiskra, Ph.D.
SU, a.s. Sokolov

Ostrava 2010

Anotace

Disertační práce se zabývá odstraňováním nečistot v rozvlákňovačích a částečně i v dalších zařízeních linek pro zpracování sběrového papíru. Aby bylo možno porovnat a zhodnotit pracovní fázi rozvlákňovačů, navrhla jsem čtyři modely vertikálního rozvlákňovače o objemu vany 17 m^3 a dva modely horizontálního rozvlákňovače o objemu vany 25 m^3 . V rozvlákňovačích jsem spočítala hydrodynamické síly, které působí uvnitř nádoby. Cílem bylo navrhnout optimální tvar jednotlivých typů rozvlákňovačů z hlediska jejich rozvlákňovacích schopností, což je kritérium vyjadřující výkon zařízení v tunách zpracované suroviny za jednotku času.

V další části provádím rozbor hydraulického tvaru lopatky rotoru rozvlákňovačů s ohledem na jejich zakřivení, které ovlivňuje charakter proudění ve vaně rozvlákňovače.

Annotation

Thesis consists of removing dirt in pulpers and partially in other equipment lines for process the waste paper. In order to compare and evaluate work phase of pulpers, I have designed four models of vertical pulper (cubical 17 m^3) and two models horizontal pulper (cubical 25 m^3). In the pulpers I have calculated hydrodynamic forces, which acts inside of vessel. The goal was to design optimal shape of individual pulper types in the depulping abilities view. This is the criterion which is the most important in efficiency description of the pulper. In next part of thesis I do runner blade hydraulic shape analysis of pulper rotor in regard of their curvature. This affects flow character in the pulper tank.

Obsah:	strana
1 Úvod.....	2
2 Cíle doktorské disertační práce	2
3 Rozvlákňovač	3
4 Návrh vany rozvlákňovače	8
4.1 ROZBOR VERTIKÁLNÍHO ROZVLÁKŇOVAČE	9
4.2 ROZBOR HYDRAULICKÉHO CHOVÁNÍ HORIZONTÁLNÍ VANY ROZVLÁKŇOVAČE	12
4.3 ROZBOR PROUDĚNÍ – TVORBA MATEMATICKÉHO MODELU	14
4.3.1 Vytvoření sítě v programu Gambit.....	14
4.3.2 Výpočet proudění jednotlivých modelů	15
4.4 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY ŘEŠENÍ ROZVLÁKŇOVAČE	19
5 Rozbor hydraulického tvaru rotoru	19
6 Stator rozvlákňovače.....	22
7 Závěr.....	24
Summary	26
Použitá literatura.....	28
Seznam vlastních prací	29

1 Úvod

Disertační práce se zabývá problematikou linek na zpracování sběrového papíru, se zaměřením na odstraňování nečistot obsažených v této důležité surovině. Je zde proveden rozbor rozvlákňovače s ohledem na hydraulické účinky tohoto zařízení na proudící papírenskou suspenzi. Je proveden návrh optimalizace tohoto uzlu ve vazbě na zlepšení účinnosti a separačních vlastností při odstraňování nežádoucích příměsí.

Chování těchto vláknitých suspenzí do značné míry ovlivňuje rychlost proudění, koncentrace, viskozita, stupeň mletí a způsob získání vláken.

Sběrový papír (starý papír) se v papírenském průmyslu využívá zejména z těchto dvou základních hledisek:

1. hledisko ekonomické – využitím levnější druhotné suroviny dochází k úspoře drahé primární suroviny – celulózové buničiny

2. hledisko ekologické – úsporou primárních vláken se snižuje spotřeba dřevní hmoty na jejich výrobu.

2 Cíle doktorské disertační práce

Technologické linky na zpracování sběrového papíru mají poměrně velkou spotřebu provozní vody a značné nároky na elektrickou energii. I přes tento nedostatek je však spotřeba vody a energie nižší, než při vyrábění papíru z primárních vláknin (ze dřeva).

Snahou všech výrobců strojů a zařízení pro technologické linky na zpracování sběrového papíru je u všech těchto zařízení, rozvlákňovačem počínaje a různými třídíči, dovlákňovači, případně flotačními zařízeními konče, snižovat v co nejvyšší možné míře energetickou náročnost.

Základním zařízením každé této linky je rozvlákňovač sběrového papíru – hydropulper. V tomto zařízení se sběrový papír, karton, nebo lepenka rozmáčí vodou, roztrhá na menší kousky a částečně rozvlákní až na jednotlivá vlákna.

Vzhledem k tomu, že toto zařízení patří mezi energeticky nejnáročnější, je velice důležité zvolit co nejoptimálnější tvar rotoru. Rotor v závislosti na objemu vany rozvlákňovače a jejím tvaru, zásadně ovlivňuje tvorbu vodního víru, který má vliv na rychlém smáčení sběrového papíru a jeho vtažení pod hladinu. Vlivem hydrodynamických sil a mechanickým působením rotoru a statoru dojde k postupnému rozvláknění papíru. Rychlé smočení a rozvolnění papíru má rozhodující vliv na spotřebu elektrické energie.

Ve své disertační práci se zabývám rozbohem hydrodynamických sil ve vertikálním rozvlákňovači o objemu vany 17m^3 a v horizontálním rozvlákňovači objemu vany 25m^3 . Vzhledem k tomu, že je žádoucí urychlit proces rozvláknění a tím dosáhnout co nejvyššího výkonu rozvlákňovacího provozu, je cílem disertační práce:

- **Návrh vhodných tvarů vany rozvlákňovače.**
- **Návrh vhodného tvaru rotoru rozvlákňovače.**
- **Rozbor proudění ve vaně rozvlákňovače.**
- **Vytvoření matematického modelu zvolených variant řešení**
- **Analýza hydrodynamických sil pracovního procesu rozvlákňovače**
- **Výběr optimální varianty řešení rozvlákňovače**

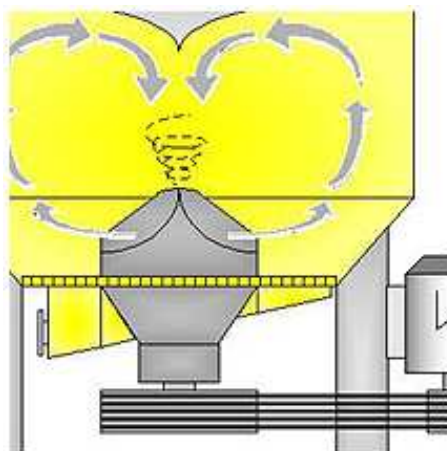
Závěry mé disertační práce budou použity pro modernizaci rozvlákňovacích orgánů, a optimalizaci jejich van. Cílem této modernizace je snížit energetickou náročnost a zvýšit účinnost při procesu rozvlákňování a třídění suspenzí v linkách na zpracování sběrového papíru.

3 Rozvlákňovač

Základní částí technologické linky je nízkokonzistenční rozvlákňovač pro zpracování suspenze o konzistenci od 3,5 do 6% absolutní sušiny. U tohoto zařízení jsem se zaměřila na komponenty zásadním způsobem ovlivňující proces rozvláknění. Zjišťuji, který z tvarů vany a rotoru rozvlákňovače je nejvhodnější z hlediska co nejrychlejšího smáčení zanášeného sběrového papíru, prostřednictvím hydraulického víru a mechanických třecích sil ve vaně rozvlákňovače. Co nejrychlejší rozmočení zanášky a její vtažení pod hladinu, zkracuje dobu potřebnou na uvolnění mezivláknenných vazeb papíru, ovlivňuje jeho výkon a spotřebu elektrické energie vynaložené na proces rozvláknění. Spotřeba elektrické energie v kW na tunu rozvlákněného papíru je důležitým kritériem při hodnocení kvality instalovaného strojního zařízení. Při současných rostoucích cenách energií, je pro provozovatele tento ukazatel rozhodujícím parametrem ekonomiky provozu.

Rozvlákňovače využívají k rozvláknění sběrového papíru turbulencí suspenze (obr. 10), ale mechanický účinek je potlačen. Tím pádem nedochází k velkému poškozování uvolněných vláken. Po rozvláknění by neměly zůstat nerozvlákněné kousky sběrového papíru. Mohou zůstat jen shluky papíru případně papír, který nelze rozvláknit z toho důvodu, že byl

v prvovýrobě spojen s fóliemi nebo plastickými hmotami, popřípadě byl slepen lepidly nebo chemikáliemi.



Obr. 1 – Turbulence suspenze v rozvlákňovači [10]

Hmotnostní průtok rozvlákňovače je dán převáděcí hydraulickou účinností rotoru dle vzorce:

$$Q_m = \frac{14,4 \cdot V \cdot c_m \cdot p}{t} \quad (1.1)$$

kde V ... je objem vany rozvlákňovače [m³]

c_m ... hmotnostní koncentrace vlákniny [%]

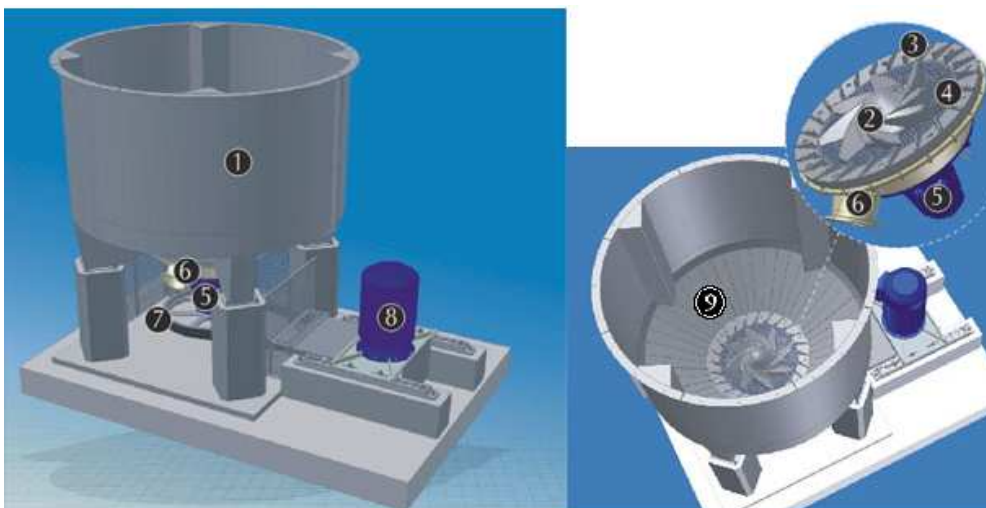
p ... součinitel časového využití stroje [0,8 až 0,9]

t ... doba rozvláknění jednoho cyklu [min]

Teplota vody, také ovlivňuje proces rozvláknění a to tak, že při použití teplé vody se doba rozvláknění zkracuje (vliv viskozity). Výkon rozvlákňovače se odvíjí od velikosti a tvaru vany. S těmito aspekty jsem také počítala při návrhu modelů, sloužících k provedení hydraulických výpočtů.

Rozvlákňovače jsou vyráběny v několika velikostech obdobné konstrukce. Provedení se od sebe liší pouze objemem vany a velikostí rotoru.

Základní části [12]



Obr. 2 – Základní části rozvlákňovače [12]

- 1 – Nerezová vana,
- 2 – rotor,
- 3 – lopatkový věnec,
- 4 – ložiskové těleso,
- 5 – labyrintové těsnění,
- 6 – výtokové těleso,
- 7 – řemenový pohon,
- 8 – přírubový elektromotor,
- 9 – žebra pro zvýšení turbulencí.

Rozvlákňení může být kontinuální nebo diskontinuální. V případě kontinuálního rozvlákňení se papír rozprostře na pásový dopravník a do rozvlákňovače je dodáván postupně až na požadovanou konzistenci. Do vany rozvlákňovače se kontinuálně zanáší sběrový papír a voda a zároveň se vodolátka odčerpává. Potřebná konzistence ve vaně rozvlákňovače je řízena pomocí regulačních okruhů na základě snímání hustoty vodolátky ve vaně rozvlákňovače. V případě jestliže konzistence překračuje nastavenou hodnotu, zpomalí se zanášení sběrového papíru a otevře se přívod vody. V opačném případě se přívod vody přiškrtí a přidává se více sběrového papíru. U diskontinuálního rozvlákňení se do rozvlákňovače nejprve napustí přibližně dvě třetiny objemu vany a doplní se potřebné množství sběrového papíru. Jakmile se začne zanášet papír a je daná vsázka, dopustí se plný objem rozvlákňovače na požadovanou konzistenci. Jakmile je vsázka rozvlákňená, celý objem vany se vyčerpá a proces se opakuje.

Po několika vsázkách se musí provést vyčištění vany v závislosti na obsahu nečistot v zanášce (u obou typů rozvlákění). Z balíku sběrového papíru se uvolňují spřádatelné a těžké nečistoty.

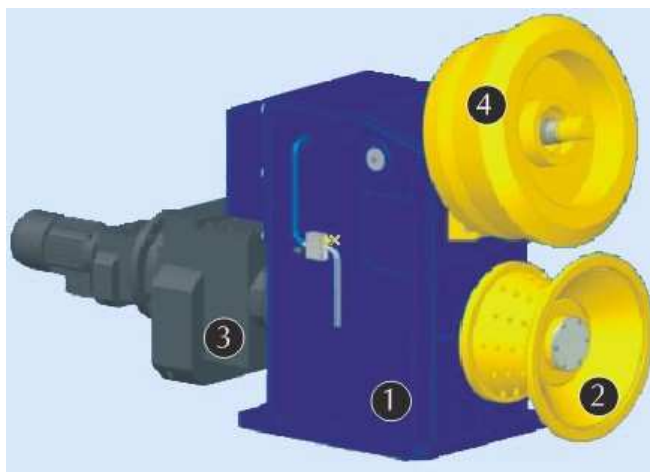
Spřádatelné nečistoty (nitě, provazy, atd.) se odstraňují z vany rozvlákňovače pomocí tzv. tahače spletnce (obr. 12). K iniciaci vzniku tzv. copu, se používá ostnatý drát, který na sebe tyto spřádatelné nečistoty nabaluje. Tento cop se z vany rozvlákňovače kontinuálně vytahuje pomocí tahače spletnce.

Těžké nečistoty se z rozvlákňovače odstraňují pomocí periodického separátoru.

Velkou předností těchto zařízení je, že v nich dochází k promývání nečistot a tím se zabráňuje úniku využitelných vláken.

Tahač spletnce

Používá se zejména u kontinuálně pracujících rozvlákňovačů. Množství vynesných spřádatelných nečistot z rozvlákňovače, závisí na obsahu nečistot ve vodolátce. Podle množství nečistot se reguluje rychlost posuvu tahače tak, aby průměr vytvářejícího se spletnce byl udržován v rozmezí od 100 do 200 mm. Podmínkou tvorby spletnce ve víru vany rozvlákňovače je dostatečné množství spřádatelných nečistot v zanášecím materiálu. Nepříznivý vliv na tvorbu a vytahování spletnce mají například dutinky a kartony velkých rozměrů, které se zapletou do spletnce, který tak neprojde odváděcí rourou.



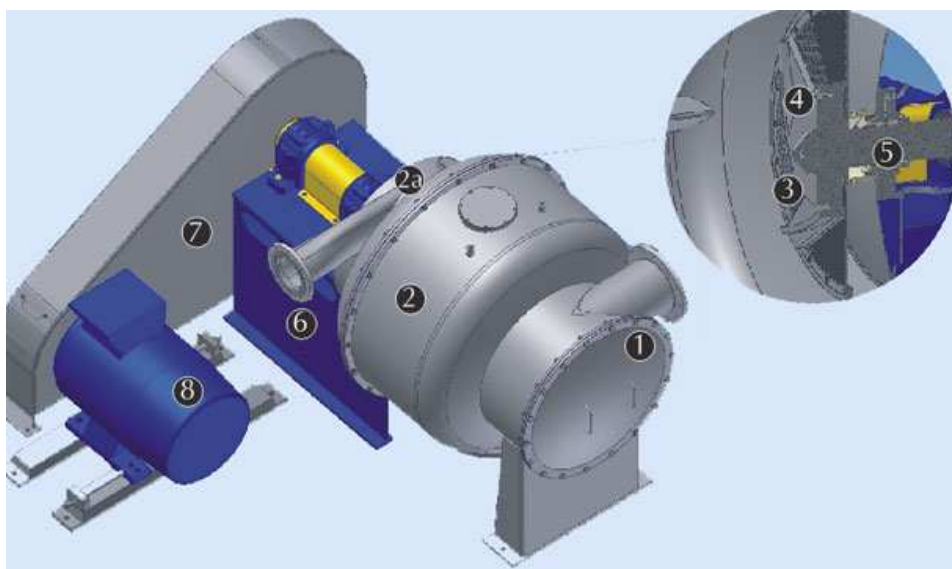
Obr. 3 – Tahač spletnce [12]

Periodický separátor

Jedná se v podstatě o uzavřený sekundární rozvlákňovač. Z rozvlákňovače odstraňuje především: fólie, úlomky plastů, kůže, pryž, hadry, dřevo apod. Odstraňování těchto nečistot

probíhá přímo při provozu. Podle znečištění a zpracovávaného množství sběrového papíru je provoz separátoru trvalý nebo přerušovaný. Vyrábí se v několika provedeních a je ho možné použít u více typů rozvlákňovačů.

Základní části separátoru [12]

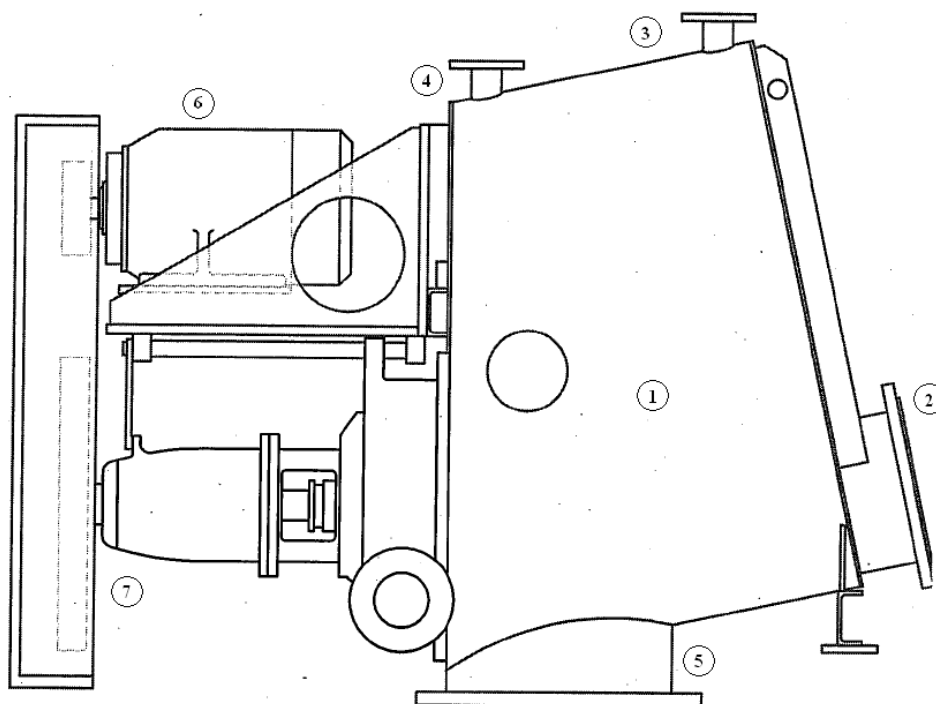


Obr. 4 – Periodický separátor [12]

- 1 – Výstupní pracovní komora,
- 2 – strojní jednotka,
- 3 – třídící síto,
- 4 – rotor,
- 5 – uložení stroje,
- 6 – stojan,
- 7 – řemenový pohon s krytem,
- 8 – elektromotor.

Čistící hruška

Toto je obdobné zařízení jako periodický separátor, pracující na stejném principu. Slouží k odstraňování stejných nečistot, rozdíl spočívá pouze v konstrukčním provedení. Pro lepší odvodnění vypouštěných nečistot se před jejich vypouštěním profoukne hruška tlakovým vzduchem a voda, kterou obsahují nečistoty, se vytlačí do rozvlákňovače.



Obr. 5 – Čistící hruška Kadant Lamort [13]

Základní části čistící hrušky:

- 1 – Vana se strojní jednotkou,
- 2 – propojovací hrdlo s vanou rozvlákňovače,
- 3 – cirkulační hrdlo (cirkulace vodolátky + tlakový vzduch),
- 4 – přívod proplachové vody,
- 5 – odvod nečistot,
- 6 – hnací elektromotor,
- 7 – řemenový pohon s krytem.

4 Návrh vany rozvlákňovače

Vytvořila jsem 4 modifikované modely vany vertikálního rozvlákňovače o objemu 17m^3 a dva modely vany horizontálního rozvlákňovače o objemu vany 25m^3 . Na základě rozboru výsledků proudění v jednotlivých modelech stanovím, který model u dvou těchto typů van je nejvýhodnější z pohledu hydraulického chování.

Při konstrukčním návrhu vycházím z kruhového tvaru vany, který má většina rozvlákňovačů (v našich papírnách jsou právě k vidění tyto typy van). První tvar vany (Model

1), který je znázorněn na obr. 26, vychází z tohoto návrhu, jehož koncept využívají i evropští výrobci (např. Papcel, Voit, Metso).

4.1 Rozbor vertikálního rozvlákňovače

Celkem jsem skompletovala čtyři sestavy (obr. 27, obr. 28, obr. 29, obr. 30). Model 1 je sestaven s menší úpravou dle předlohy od firmy Papcel (úprava spočívá v doplnění žeber, která jsou součástí tvaru vany, z důvodu lepší turbulence). Další tři modely jsou provedeny pomocí kombinace vlastní tvůrčí schopnosti a již existujících návrhů. Aby bylo možné co nejobektivněji porovnat hydrodynamické síly vznikající při rozvlákňování, byl v těchto třech modelech použit stejný rotor.

Další technické parametry u vertikálního rozvlákňovače jsou následující: průměr nádrže je 3660mm, průměr rotoru 1070 mm, počet lopatek na rotoru 8 ks, otáčky rotoru $260 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, příkon elektromotoru 160 kW.

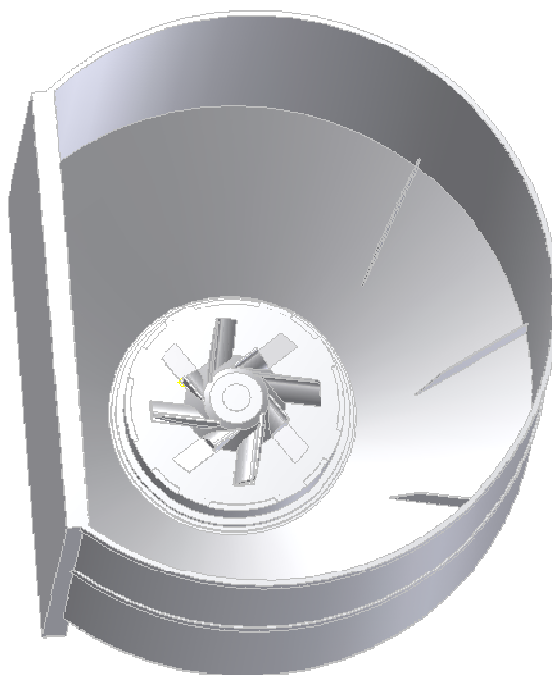
Model 1 – (obr. 6). U tohoto modelu jsem postupovala dle předlohy, která je již funkční v praxi. Nejprve jsem vymodelovala vanu, která je kruhového tvaru. Z důvodu usnadnění další práce na modelech. Do vany jsem v kolmém směru s osou x dodala žebra po celém kruhovém obvodu. Učinila jsem tak z důvodu zkušeností z praxe. Zjistila jsem, že pokud ve vaně rozvlákňovače nejsou umístěny, dochází k téměř dvojnásobnému prodloužení času potřebného k rozvlákňování. Tato skutečnost je zřejmá i z mého výpočtu Modelu 3.

Tento jev lze vysvětlit tím, že žebra působí jako překážky, které brzdí rotaci vodní hladiny způsobené rotorem. V okolí lopatek vzniká podružné víření a turbulence, které napomáhají rychlejšímu smáčení papíru a jeho vtažení pod hladinu. Žebra mají tvar pravoúhlého lichoběžníku a jsou rovnoměrně uspořádány pod úhlem 60° kolem celého kruhového tvaru. Celkem je ve vaně umístěno šest žeber. Dalším dílem celé sestavy je rotor, který je také kopií již funkčního celku. Poslední třetí částí je síto, tato část v podstatě plní pouze funkci jakéhosi uzavření celého modelu. Ve skutečnosti má síto díky děrování i jinou funkci, ale z důvodu zjednodušení výpočtu jsem ho vymodelovala bez děr. U tohoto síta jsou ještě vymodelována malá žebra, která by měla napomáhat snadnějšímu „trhání“ papírových listů. Jsou tvaru pravoúhlého trojúhelníku, umístěny pod úhlem 30° k ose rozvlákňovače a rovnoměrně rozmístěny, kolem kruhového tvaru síta. Celkem je jich na statoru rozmístěno padesát.



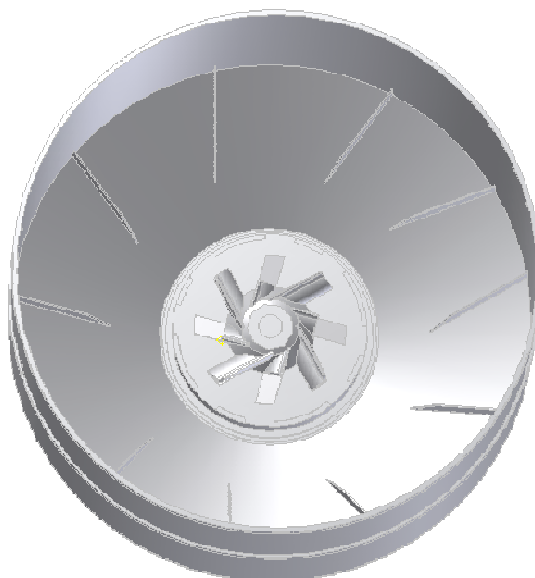
Obr. 6 – Model 1

Model 2 – Sestává také ze tří částí. Na rozdíl od předchozího modelu je kruhová část vany odříznuta tětivou. Rovná část stěny způsobuje, že sloup vody rotující po obvodě válcové části vany, vtáhne arch papíru do proudu a unáší ho ke stěně, kde do ní arch narazí a je vtažen pod hladinu středovým vírem. Právě tento jev způsobuje, že balík sběrového papíru je velmi rychle vtažen pod hladinu, rozmáčen a působením hydrodynamických sil rozvlákněn. Ve vaně jsou zakomponována tři žebra. Umístila jsem je v kruhové části, proti stěně. Jsou vymodelována pod různými úhly. Horní žebro svírá úhel 60° s osou y , střední žebro svírá úhel 20° s osou y a spodní žebro svírá úhel -20 stupňů s osou y . Všechna jsou v různých vzdálenostech od této osy a mají tvar pravoúhlého lichoběžníku. Druhá část je rotor. Sestává z lopatek oběžného kola, které jsem vymodelovala ve dvou provedeních, a navzájem se po obvodu kola střídají. Tvar lopatek je uzpůsoben tak, aby předával kinetickou energii vodnímu sloupci a vytvářel vír ve vaně rozvlákňovače. Posledním dílem je síto (stator), které je hladké a v tomto případě plní pouze funkci uzavření modelu. Síto je následně použito i ve zbývajících dvou modelech pro výpočet v programu Fluent.



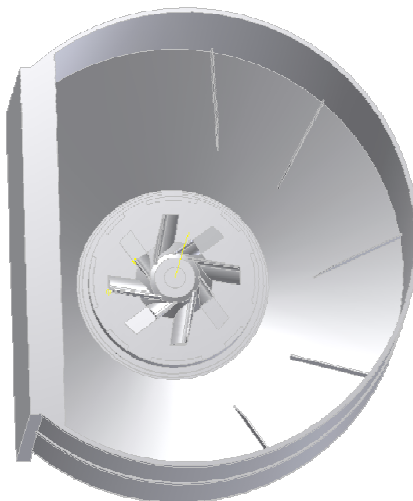
Obr. 7 – Model 2

Model 3 – Vana je kruhového tvaru stejně jako u prvního modelu. Liší se pouze v rozmístění a počtu žebí. Žebra jsou vymodelována pod různými úhly, jež svírají s osou y a jsou tvaru pravoúhlého lichoběžníku. Ve vaně je po celém obvodu rozmístěno deset žebí. Dalším rozdílem oproti Modelu 1 je rotor, který je stejný jako u Modelu 2. Stejný rotor je použit i u Modelu 4.



Obr. 8 – Model 3

Model 4 – Vana se liší, od Modelu 2 tvarem stěny. Stěna není kolmá jako v případě druhého modelu, ale je zkosená. Zkosená stěna řeže opět jako tětíva válcovou část vany. Zkosení stěny probíhá od horního okraje vany směrem k rotoru pod úhlem 5 stupňů. Dále se liší v počtu žeber rozmístěných ve vaně. Žebra jsou umístěna naproti zešíkmené stěně ve válcové části. Celkem je zde pět žeber. Jsou rozmístěny v různých úhlech, které svírají s osou y. Další dvě části, rotor a síto modelu jsou shodné s Modelem 2.



Obr. 9 – Model 4

U jednotlivých modelů se zabývám jejich tvarem. Abych zjistila, jak tento faktor, v následujících výpočtech ovlivní proudění, čas rozvláknění a turbulenci. Závěry z toho vyplývající budou využity při řešení nových van rozvlákňovačů.

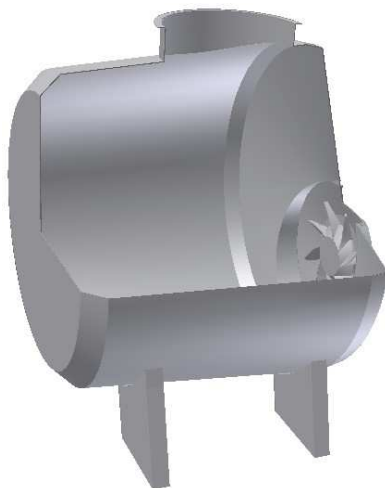
4.2 Rozbor hydraulického chování horizontální vany rozvlákňovače

Při posuzování hydraulického chování vany horizontálního rozvlákňovače jsem zvolila vanu o objemu 25 m^3 což je nejmenší objem vany u současně vyráběných rozvlákňovačů. Vytvořila jsem dva výpočtové modely, přičemž model č. 5, vychází z klasického rotačního tvaru vany horizontálního rozvlákňovače.

U zkoumaných modelů van vertikálního rozvlákňovače se jako nejvýhodnější tvar z hlediska hydrodynamického proudění urychlení rozmáčení papírových listů jeví model s kolmou stěnou, tvořící tětívu válcového tělesa. Proto u modelu č. 6 využívám analogicky stejného principu a válcovou část vany jsem rovněž „seřízla“ rovnoběžně s podélnou osou

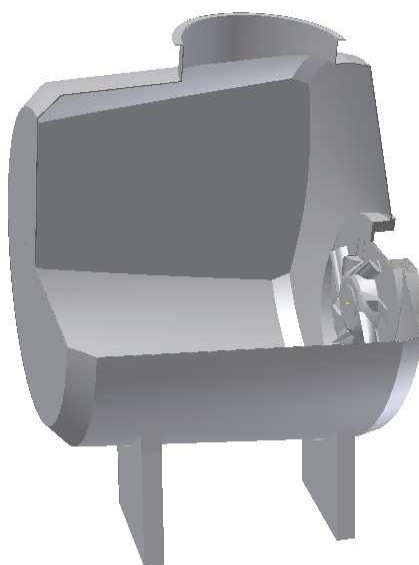
rozvlákňovače. Předpokládám, že odražená vlna rotujícího vodního proudu rovněž urychlí smočení zanášeného papíru.

Při rozboru proudění a tvorbě matematických modelů vycházím ze stejných principů popsaných v následující kapitole 3.2.



Obr. 10 – Model 5

Model 5 – Při tvorbě horizontálního rozvlákňovače jsem použila stejný kruhový tvar, který je již odzkoušen a používán v praxi. Model sestává jako předchozí modely ze tří částí. Nejprve jsem tedy vymodelovala jednotlivé díly, které jsem poskládala do sestavy. Největší pozornost jsem věnovala hydraulickému tvaru lopatek rotoru. Provedla jsem jejich návrh, který jsem podložila i v další kapitole výpočtem. Síto (stator) je zvětšen vzhledem k otvoru nádoby na větší průměr.



Obr. 11 – Model 6 v řezu

Model 6 – Sestává také ze tří částí, které jsou zkompletovány v jeden celek. Vana se liší kolmou stěnou k ose x. Tuto úpravu jsem udělala vzhledem k výsledkům u předchozích modelů a zjištění jestli tato úprava bude fungovat stejně dobře jako u předchozího Modelu 2 a 4. Další součástí je rotor, který je modifikací předchozích modelů. Modifikace spočívala ve zvětšení průměru a prodloužení tvaru lopatek. Síto je stejné jako u modelu 5.

4.3 Rozbor proudění – tvorba matematického modelu

V této části disertační práce provedu na základě navržených modelů nejdůležitějších dílů rozvlákňovačů, hydraulické výpočty rozvlákňovacího procesu, s cílem stanovit optimálnější tvar těchto dílů. Jako základní kritérium pro hodnocení výsledků jsem stanovila čas, v němž dokáže proudění vodního obsahu jednotlivých modelů vtáhnout zanášenou papírovou hmotu pod hladinu a způsobit její rozmělnění.

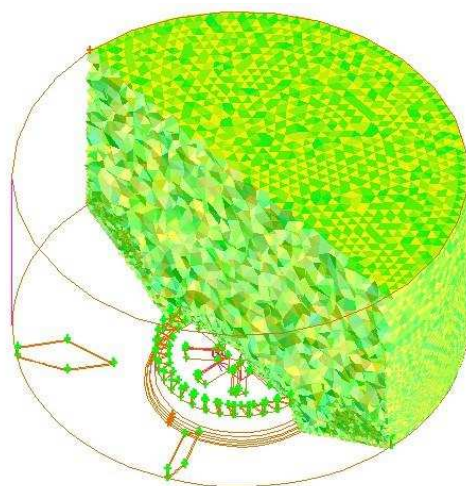
Po vytvoření modelů, jsem nejprve musela vytvořit síť v programu Gambit. Vytvoření sítě rozvlákňovače je podstatné pro hydraulický výpočet v programu Fluent.

4.3.1 Vytvoření sítě v programu Gambit

Nejprve jsem importovala geometrii modelu ve formátu step. Následně jsem musela vyléčit geometrii, kvůli překrývajícím se čarám a bodům, které k síťování nejsou potřeba. Ze zbylých čar, které zůstaly po úpravě, jsem vytvořila plochy. Vše bylo nadefinováno jako stěna, kromě horní části nádoby. Dále vzhledem k přehlednosti v modelu jsem jednotlivé části označila a pojmenovala jako v programu Inventor (rotor, nádoba, síto). Následně bylo nutné nadefinovat objem, který činí rotor a síto bez nádoby.

Po těchto úpravách se mohly začít vysítovat stěny. Kvůli složitosti sítě jsem použila trojúhelníkovou síť. Pro obal je použité hrubší síťování a pro rotor a přechody je použito jemné síťování. Názorná ukázka vysítování v programu Gambit je na obr. 12 .

Vzhledem k velikosti nádoby musely být nadefinovány také okrajové podmínky rozvlákňovače, vše kromě horní části nádoby definuji jako wall, horní část jako pressure inlet.



Obr. 12 – Sít' modelu 1

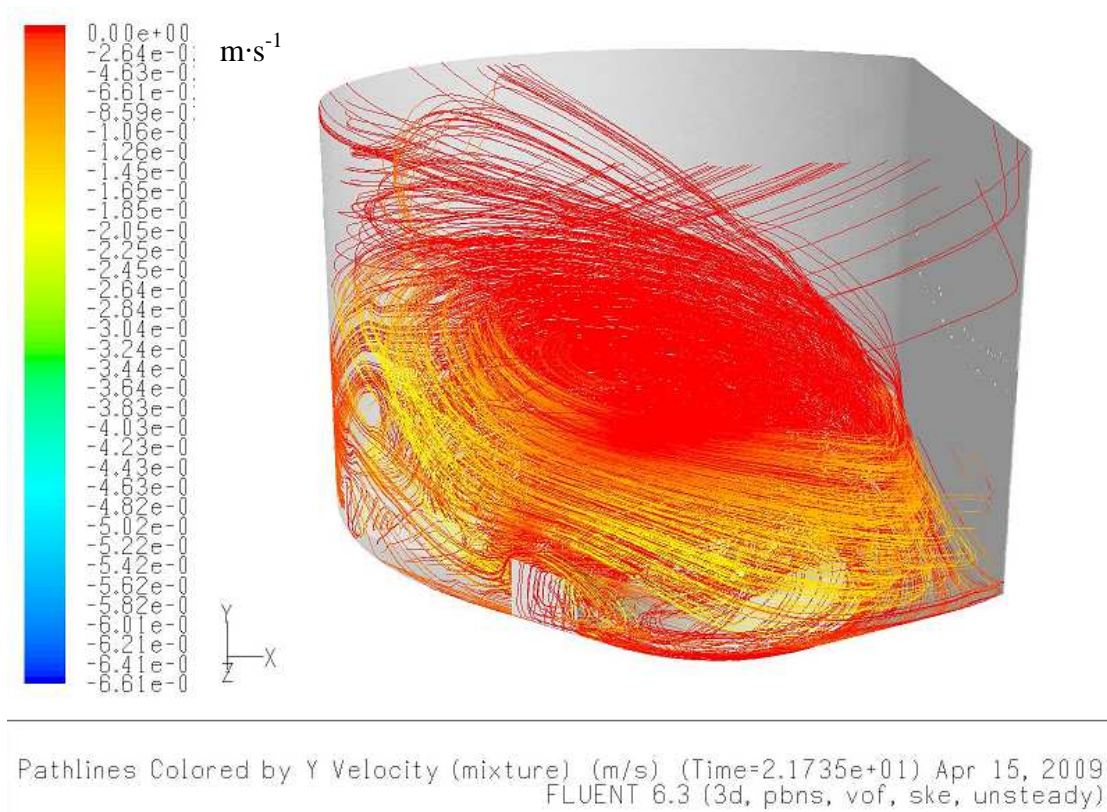
4.3.2 Výpočet proudění jednotlivých modelů

Všechny výpočty byly počítány ne jako směs papíru, vody a vzduchu, ale pouze jako kombinace voda a vzduch. Výpočet jsem počítala tímto způsobem, protože jiné složení by bylo náročnější z hlediska nastavení i z hlediska výpočetní techniky. Pro zjištění vlivů působících v nádobě rozvlákňovačů a závěrečnému vyhodnocení nejlépe pracujícího rozvlákňovače je toto nastavení dostačující.

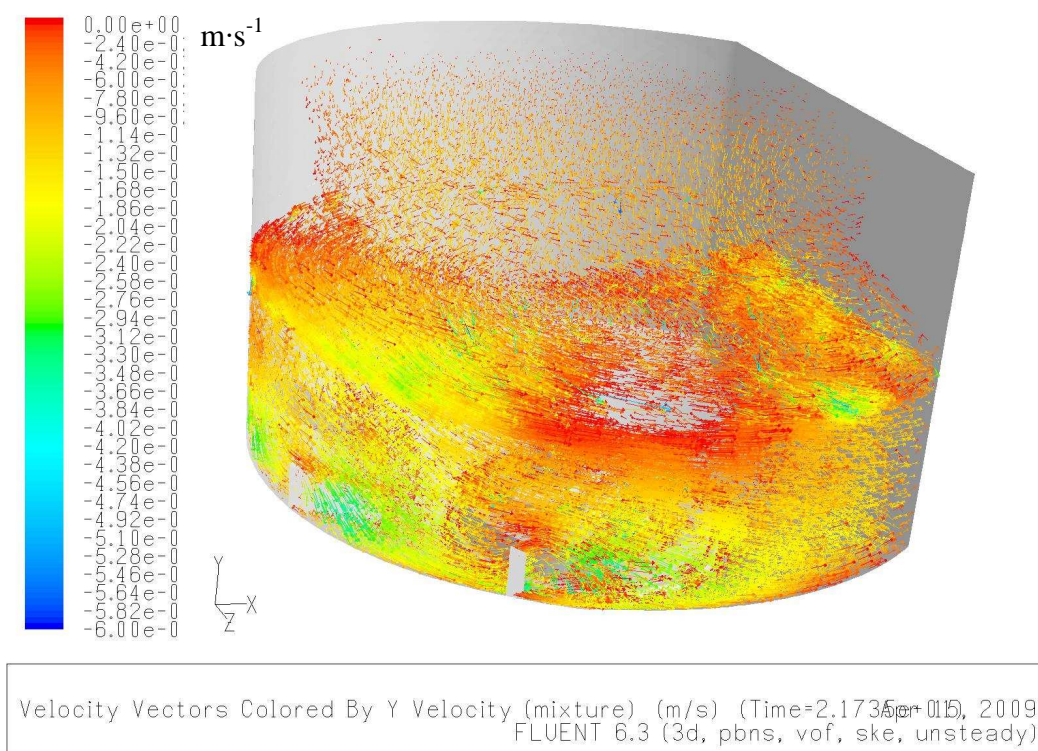
U všech šesti modelů jsem zjišťovala funkčnost podle velikosti proudění, z čehož vyplývá i doba, za který je rozvlákňovač schopen stáhnout arch papíru pod hladinu aby docházelo k rychlejšímu smáčení a rozvlákňování. U prvních čtyř modelů (vertikální rozvlákňovač) jsem vyhodnocení výpočtu provedla pomocí linek proudění a pomocí vektorů. U zbývajících dvou (horizontální rozvlákňovač) pomocí intenzity turbulence a rychlosti ve směru y.

Model 4 byl počítán do 45 sec, výpočet probíhal stejně, jako u ostatních modelů avšak v tomto případě nebylo dosaženo ustáleného stavu. Na obr. 13 je zobrazeno vyhodnocení pomocí linek proudění a na obr. 14 vyhodnocení pomocí vektorů. Arch papíru je v tomto případě stahován proudem o rychlosti $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ve směru dolů.

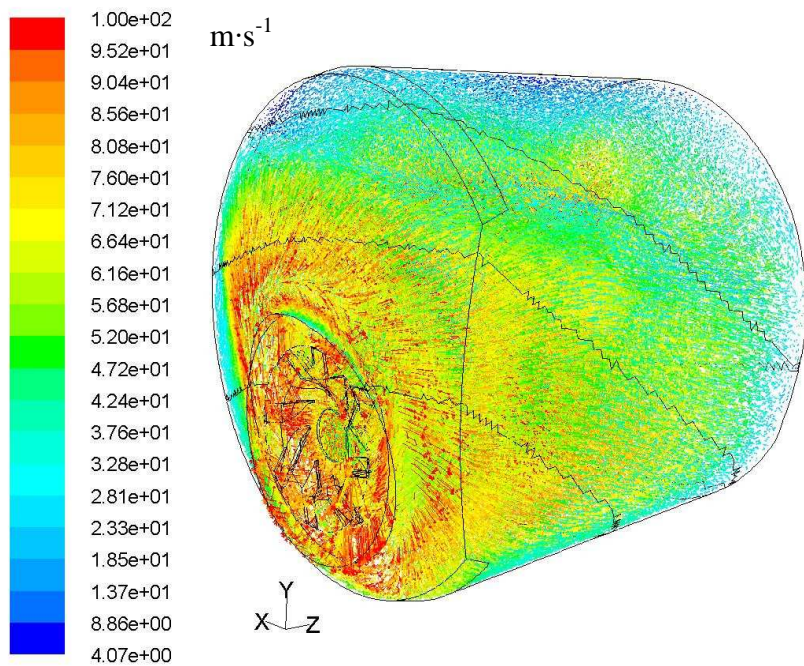
Model 5 a 6 byl počítán do 10sec, výpočty probíhaly odlišně, než tomu bylo u výpočtu vertikálního rozvlákňovače. Všechna nastavení byla stejná, rozdíl spočíval ve způsobu ukládání, kdy nebylo možné výpočet počítat od počátku do ustáleného stavu. Po uložení se výpočet začal počítat znovu od začátku, ale s již uloženými výsledky. Proto na obrázcích není znázorněn čas 10 sec, ale pouze 3 sec. Na obr. 15 a 16 je vyhodnocení pomocí intenzity turbulence. Vzhledem, k odlišné konstrukci vertikálního rozvlákňovače, jsem pro názornost provedla vyobrazení vody a vzduchu obr. 17.



Obr. 13 – Model 2 - vyhodnocení proudění pomocí linek proudění

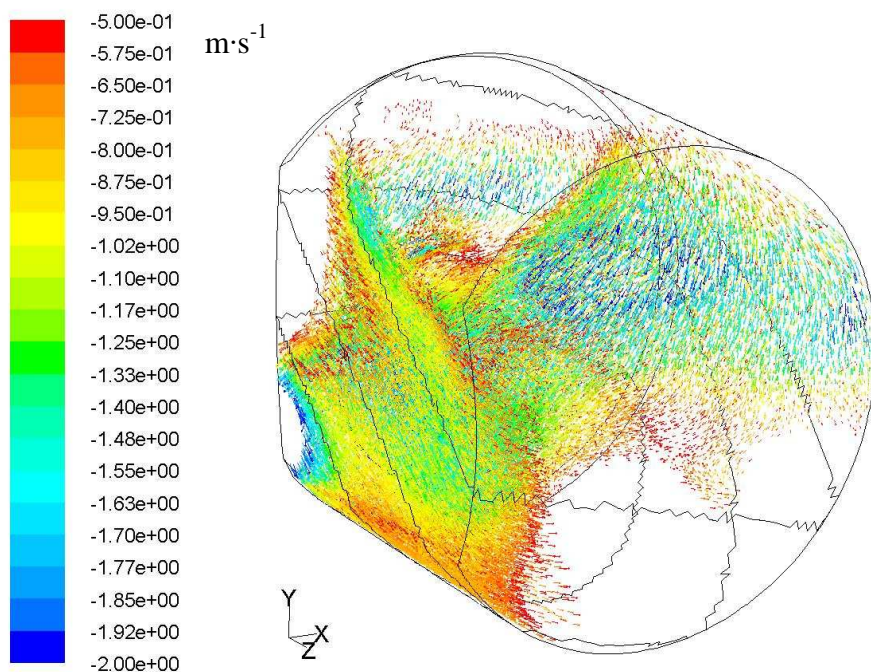


Obr. 14 – Model 2 - vyhodnocení proudění pomocí vektorů



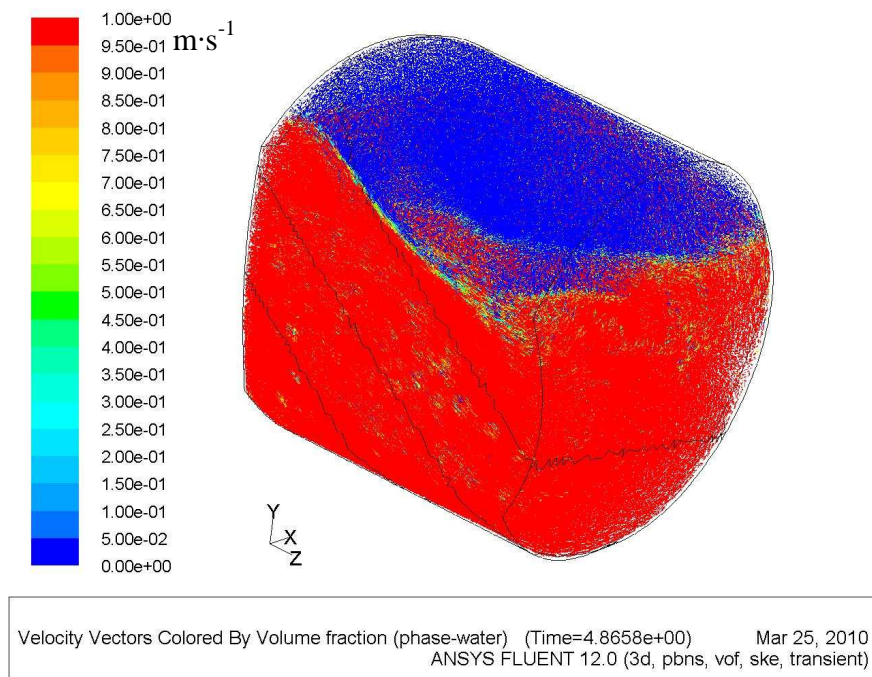
Velocity Vectors Colored By Turbulent Intensity (mixture) (%) (Time=4.8658e+00) Mar 25, 2010
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, vof, ske, transient)

Obr. 15 – Model 6 – intenzita turbulence



Velocity Vectors Colored By Y Velocity (mixture) (m/s) (Time=4.8658e+00) Mar 25, 2010
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, vof, ske, transient)

Obr. 16 – Model 6 - rychlost ve směru y



Obr. 17 – Model 6 - zobrazení vody a vzduchu v horizontálním rozvlákňovači

Analýza hydrodynamických sil

Model 2 – Na obr. 13 je patrné několik vírů. Největší vír, který se pohybuje kolem stěny nádoby je způsoben úhlovou rychlostí rotoru a tvarem nádoby. Víry vznikající na patě žebër jsou způsobeny natočením a velikostí žebër. Podle výpočtu můžeme říct, že dochází k tomuto jevu: Sbërový papír je vtahován pod hladinu, částečně se rozpadá v důsledku nárazu na žebra a následného nárazu na kolmou stěnu nádoby. Tímto jevem, dochází k separaci na menší kousky. Na základě tohoto poznatku můžu konstatovat, že tento tvar nádoby a uspořádání modelu je účinnější, než tomu je u modelu předchozího. Z obrázku je také patrná rychlost vtahování sbërového papíru pod hladinu. Vyhodnocujeme ji z levého sloupce na základě barvy, kterou mají linky proudění v nádobě. V tomto případě jde o barvu žlutou tudíž rychlost je $0,225 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Model 6 – Na obr. 15 intenzita turbulence dosahuje také 66%, ale je zřejmé že intenzita působí ve větším objemu nádoby. Zatímco intenzita u modelu 5 působí v jeho jedné čtvrtině objemu, u tohoto modelu působí intenzita turbulence v třech čtvrtinách jeho objemu. Podíváme-li se, na obr. 16 zjistíme, že rychlost vtahování je větší, než je tomu u

rozvlákňovače kruhového tvaru. Je to způsobeno rovnou stěnou, kde dochází k prudkému nárazu kapaliny a změně směru proudění.

4.4 Výběr optimální varianty řešení rozvlákňovače

Z předchozího hodnocení všech čtyř výpočtových modelů van rozvlákňovače, jednoznačně plyne, že vana Modelu 2 a vana Modelu 6, je nejvýhodnější z pohledu tvorby víru a jeho působení na rychlost smáčení zanášených archů papíru a jejich „rozmělnění“ vlivem hydrodynamických sil, turbulencí a mechanického působení rotoru.

Toto je, ale pouze jeden z nejdůležitějších aspektů konstrukce rozvlákňovače. Další, neméně důležité aspekty ovlivňující výkon rozvlákňovače a jeho příkon, jsou – průměr a tvar rotoru, uložení rotoru a jeho utěsnění, vazba mezi rotorovou a statorovou částí rozvlákňovače a tvar a děrování síta statoru.

5 Rozbor hydraulického tvaru rotoru

V další fázi této práce se věnuji zkoumání další důležité části rozvlákňovače – rotoru. U rotoru je důležitý hydraulický tvar lopatky, jehož rozbor je proveden v následující kapitole. Obecně lze říci, že rotory horizontálních a vertikálních rozvlákňovačů se od sebe zásadně neliší. Důležitým kritériem je správná volba materiálů rotoru, aby co nejvíce dokázal odolávat vlivům mechanického a erozivního opotřebení. Životnost rotoru do velké míry ovlivňuje ekonomiku provozu. V provozech se prokázalo, že u opotřeбенého rotoru dochází až ke dvojnásobnému nárůstu času potřebného na rozvláknění daného objemu vany rozvlákňovače. Proto je žádoucí, aby co nejvíce dokázal odolávat vlivům mechanického a erozivního opotřebení. Je nezbytné, aby servisní odstávky zařízení nutné pro výměnu rotoru byly co nejkratší a intervaly mezi těmito odstávkami byly co nejdelší. Náběhové hrany lopatek rotoru patří mezi nejvíce namáhané části rozvlákňovače. Renovace těchto hran se provádí návarem tvrdokovu a obroušením do požadovaného tvaru.

U nejmodernějších typů rotorů jsou náběhové hrany lopatek řešeny jako výměnné, což značně zkracuje pracnost a čas potřebný na opravu rotoru.

Rotory rozvlákňovačů se konstruují jako pravotočivá tělesa, nejčastěji s osmi kusy lopatek. Jedná se o poměrně náročné odlitky z nerezové svařitelné ocelolitiny. V české republice se nejčastěji používá materiál dle ČSN 422906, což odpovídá DIN G-X20Cr14. Jak již bylo zmíněno, opotřebované náběhové hrany rotoru se opravují navařením a obroušením do požadovaného tvaru (dle výkresu). Aby prostoje pro nutnou údržbu byly minimální, provádí

se údržba tím způsobem, že opotřebované díly se vymontují a nahradí se díly renovovanými. Rozvlákňovač může být provozován a opotřebované díly se mezi tím zrenovují.

Návrh tvaru lopatky

Při návrhu tvaru lopatky vycházím ze stávajících tvarů lopatek užívaných u rotorů, již v praxi ověřených na oběžných kolech čerpadel. Provádím teoretický rozbor pomocí metody singularit pro tenké profily, obtékání osamoceného profilu. Při teoretickém rozboru jsem použila podklady přednášené na katedře hydrauliky, strojní fakulty VUT Brno.

Pro výpočet tvaru křivky lopatky jsem použila program Excel.

Tabulka 1 – Výpočet střední křivky lopatky modelu 6

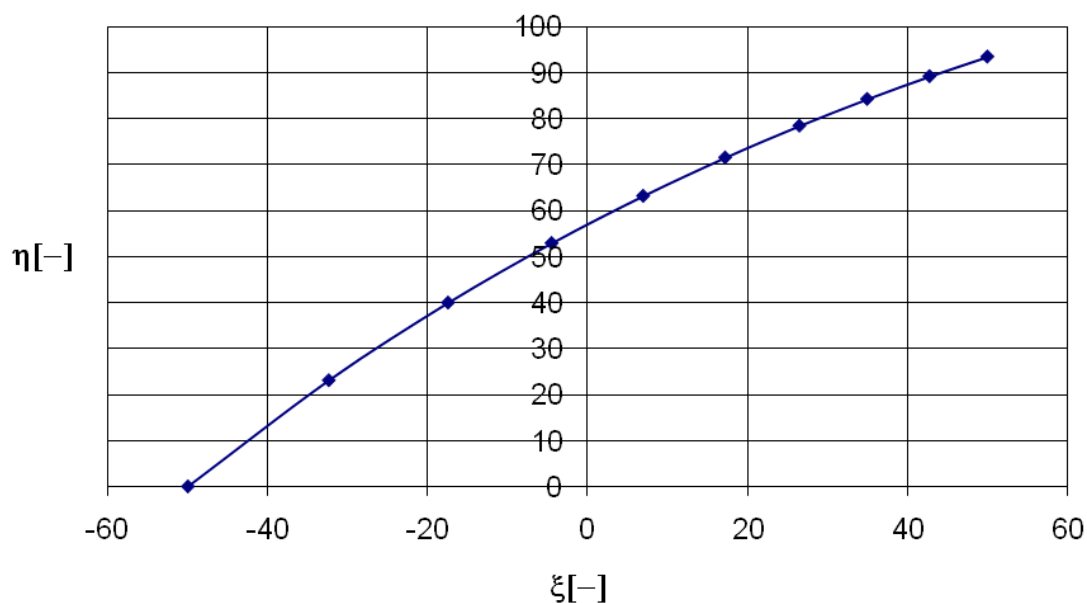
číslo bodu	r_i [mm]	x_i [mm]	σ [mm]	$1/r_i$ [mm ⁻¹]	integrál($d\sigma/r$):	ξ [-]	η [-]
1	227,185	15,25	0	0,0044017	0	-50	0
2	271,38667	15,388889	44,201885	0,0036848	0,178718795	-32,38735	23,069572
3	315,58833	15,527778	88,40377	0,0031687	0,330186816	-17,46025	39,944603
4	359,79	15,666667	132,60565	0,0027794	0,461645079	-4,505096	52,884686
5	403,99167	15,805556	176,80754	0,0024753	0,57777885	6,9398328	63,143668
6	448,19333	15,944444	221,00942	0,0022312	0,681796462	17,190719	71,480924
7	492,395	16,083333	265,21131	0,0020309	0,775992222	26,473667	78,386804
8	536,59667	16,222222	309,41319	0,0018636	0,862064054	34,956005	84,193877
9	580,79833	16,361111	353,61508	0,0017218	0,941304002	42,765065	89,13666
10	625	16,5	397,81696	0,0016	1,014718206	50	93,385837

Tabulka 2 – Výpočet střední křivky lopatky modlu 6, po zpětné transformaci v souřadnicích

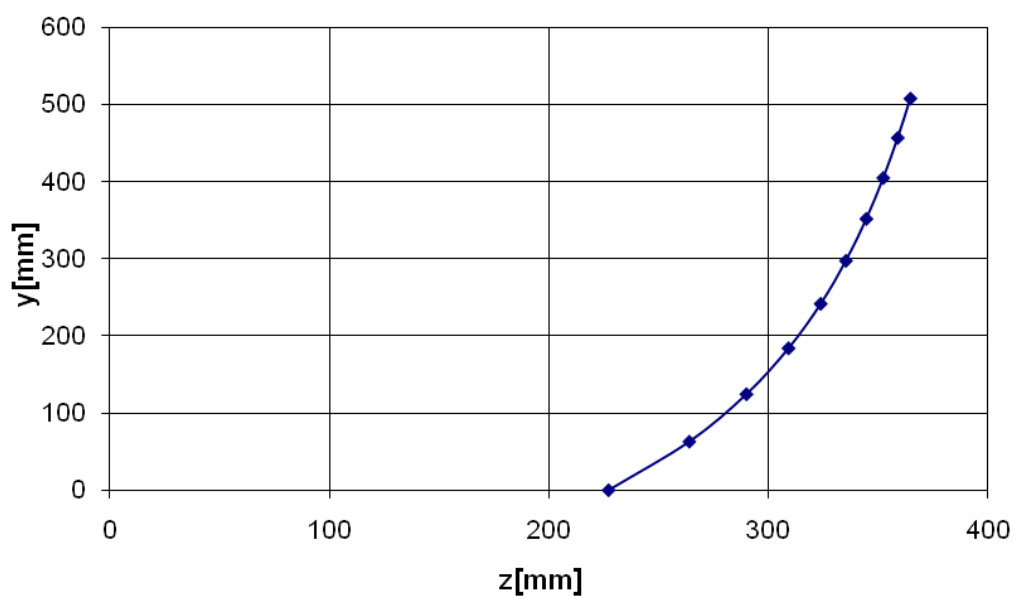
x,z

ϕ [rad]	ϕ [°]	z[mm]	y[mm]
0	0	227,185	0
0,234091	13,41243	263,9847	62,95058
0,405325	23,22342	290,0175	124,442
0,536631	30,74666	309,2165	183,9401
0,64073	36,71114	323,8637	241,4986
0,72533	41,55835	335,3744	297,3236
0,795405	45,57336	344,6743	351,6425
0,854331	48,94954	352,3956	404,6644
0,904486	51,82323	358,9855	456,5699
0,947603	54,29366	364,7694	507,5118

Na obr. 18 je znázorněna v grafu střední křivka lopatky před transformací a na obr. 19 střední křivka po transformaci.



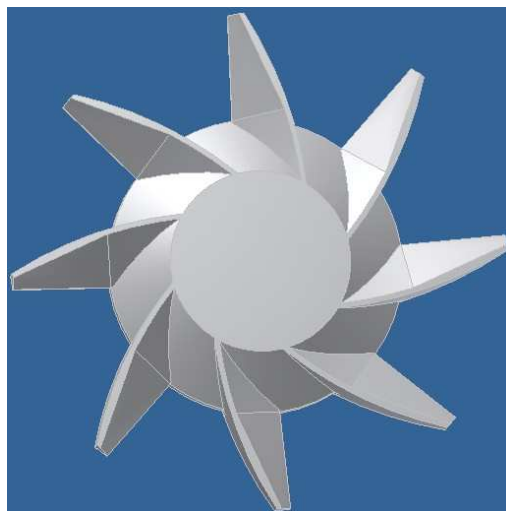
Obr. 18 – Zakřivení lopatky před zpětnou transformací



Obr. 19 – Zakřivení lopatky po zpětné transformaci v souřadnicích y, z

Tento výpočet je proveden pro rotor umístěný v modelu 5, rotor je znázorněn na obr. 20. Další rotor, který je součástí modelu 6 je modifikací rotoru, který je použit v modelech 2

až 4. Modifikace spočívá ve zvětšení počátečního a koncového průměru lopatky. Úhly potřebné pro výpočet se v daném případě nemění.



Obr. 20 – Rotor modelu 5

6 Stator rozvlákňovače

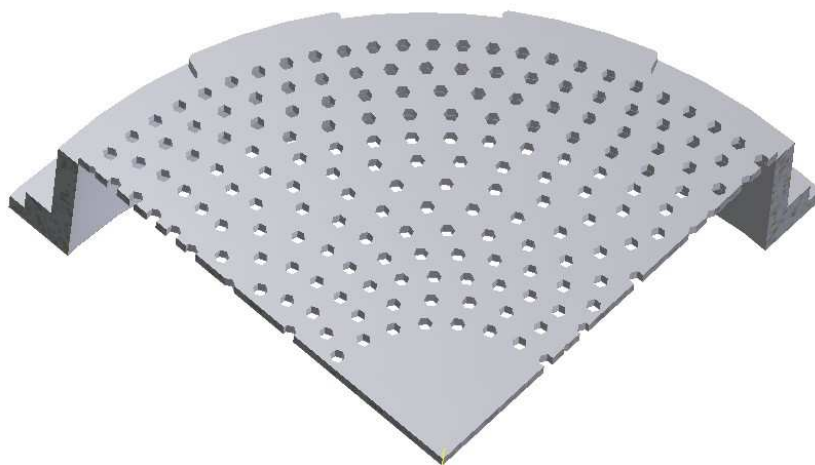
Statory rozvlákňovačů tvoří v podstatě síto, které je připevněno na výtokovém tělese rozvlákňovače. Pro správný chod rozvlákňovače je nezbytné vymezení vůle mezi rotorem a statorem, které se provádí při montáži pomocí vymezovacích podložek. Vůle se pohybuje v rozmezí od 1,2 až 1,8 mm. Aby nenastávalo „pěchování“ nečistot mezi rotor a stator, je u některých typů rozvlákňovačů do této mezery zavedena proplachová voda. Množství této vody, je regulováno, aby nedocházelo k nekontrolovatelnému ředění obsahu vany rozvlákňovače.

Materiály, z nichž jsou statory zhotovovány, jsou buď nerezové plechy z materiálu třídy 17, nebo nerezové ocelolitinové odlitky dle ČSN 422906. V závislosti na druhu zpracovávané buničiny se zhotovuje děrování statorů. Nejčastěji se používají válcové otvory, mohou být ale použity i statory drážkované, firma Kadant-Lamort nabízí speciální děrování – kónické vícehranné otvory obr. 21.

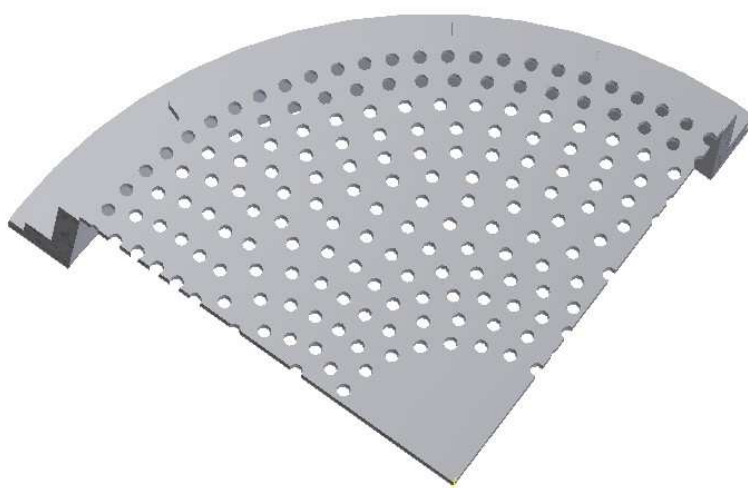
Například u horizontálního rozvlákňovače Papcel, o objemu vany 25 m³ se nabízí následující vrtání statoru: Ø4 mm, Ø6 mm, Ø8 mm, Ø10 mm, Ø12 mm, Ø16 mm a Ø20 mm, obr 22. Obecně lze říci, že čím menší průměr děrování je navržen, tím kvalitnější surovina s co nejmenším podílem nečistot by měla být zpracovávána. Konkrétní navržení děrování statoru závisí vždy na druhu zpracovávaného sběrového papíru, pracovní konzistenci ve vaně rozvlákňovače a následných dalších třídících stupních zpracovatelské linky. Je to vždy otázka

vzájemných konzultací mezi papírenským technologem budoucího provozovatele a techniky výrobce rozvlákňovače. Na základě zpracovávaného druhu sběrového papíru a použitého způsobu děrování statoru, potom výrobce garantuje výkon rozvlákňovače v tunách zpracovaného sběrového papíru za 24 hodin.

Stator rozvlákňovače podléhá při provozu rovněž opotřebení. Vznikají v něm převážně rýhy, nebo trhliny, vzniklé nárazem tvrdých nečistot. Renovace se provádí převážně opracováním (odebráním tenké vrstvy do 0,5 mm) na soustruhu. Životnost statoru bývá 2 až 3 krát větší než životnost rotoru, to znamená, že stator se většinou renovuje, případně vymění po dvou až třech renovacích rotoru.



Obr. 21 – Stator s více hranným děrováním



Obr. 22 – Stator s kruhovým děrováním

7 Závěr

Problematika zpracování sběrového papíru zahrnuje celou škálu technických oborů. Uplatňuje se zde chemické inženýrství, hydraulika proudění a třídění vláknitých suspenzí, měření a regulace technologických procesů a v neposlední řadě strojní inženýrství, řešící jednotlivá strojní zařízení počínaje rozvlákňováním, čerpáním, mícháním, dovlákňováním a tříděním zpracovávaných surovin.

Ve své práci jsem popsala jednotlivá zařízení technologických linek na zpracování sběrového papíru, přičemž jsem se především zaměřila na detailní rozbor primárního zařízení všech technologických linek (papírenských) – rozvlákňovače. Pomocí programu Fluent jsem provedla výpočty proudění ve vanách vertikálního i horizontálního rozvlákňovače, jejichž cílem bylo určit optimální tvar vany, ovlivňující zásadním způsobem rychlost smáčení papírových archů a jejich rozvláknění.

Nejprve jsem navrhla a zkonstruovala Model 1, což je klasický válcový tvar vany, který v praxi používají všichni výrobci tohoto zařízení. Tento model slouží jako základní koncept pro porovnání výsledků dalších verzí modelů navržených a vypočítaných v programu Fluent. Na základě výsledků proudění jsem zjistila, který tvar vany, vytváří větší vír, urychlující vtažení archů papíru pod hladinu. U horizontálních rozvlákňovačů jsem postupovala stejně jako u vertikálních. Zkoumala jsem, zda efekt rovné stěny provedený u vertikálního rozvlákňovače (model 2 a 4) se projeví obdobným jevem rychlejšího smáčení papírových archů i u takto upraveného horizontálního rozvlákňovače. Výpočet prokázal, že takto upravený horizontální rozvlákňovač má lepší výsledky. Z grafického zobrazení linek proudění u jednotlivých navržených modelů vyplývá, že důležitou součástí vany ovlivňující proces rozvláknění jsou i žebra navařená po obvodě u dna nádoby. Tato žebra „brzdí“ kapalinu po obvodu vany a způsobují podružné turbulence napomáhající rozvolnění archů papíru. Kinetická energie rotující kapaliny je tímto způsobem lépe využita v procesu rozvláknění. U další důležité části – rotoru rozvlákňovače, jsem řešila hydraulický návrh tvaru lopatky, který také značně ovlivňuje proudění.

Z rozboru hydraulického proudění ve vanách rozvlákňovačů vyplývá, že nejvýrazněji tvorbu víru a mikroturbulenci ovlivňuje u horizontální i vertikální vany rotor s proměnlivým tvarem lopatek a „rovná“ stěna, tvořící tětívu rotačního tvaru obou typů těles. Od této rovné stěny se rotující kapalina odráží a vytváří zpětnou vlnu, která přispívá svojí energií k rychlému vtažení papírových listů pod hladinu. Tento efekt urychluje proces smáčení,

napomáhá rozvolnění zanášených balíků papíru, přispívá k uvolnění mezivlákněných vazeb a tím pádem, zvyšuje výkon rozvlákňovačů v tunách zpracované suroviny za 24 hodin.

Výsledky teoretického výpočtu u vany Modelu 2, dokazující nejvyšší efektivitu rozvlákňování, byly již ověřeny v praxi. Tento typ vertikálního rozvlákňovače s objemem vany 17 m^3 , dokázal nahradit stávající horizontální rozvlákňovač o objemu vany 25 m^3 , přičemž se prokázala ještě výkonová rezerva požadované kapacity provozu rozvlákňování. Čas rozvlákňování objemu vsázky se zkrátí z původních 35 minut na cca 25 minut. Rozvlákňovač je schopen denně zpracovat 80 až 120 tun sběrového papíru.

Nežádoucí příměsi obsažené ve sběrovém papíru (zbytky hader, provázky, dráty, pruhy plastových fólií apod.) jsou prostřednictvím rotujícího vodního víru spřádány a společně s dalšími těžkými nečistotami jsou z vany rozvlákňovače kontinuálně nebo periodicky odstraňovány. Rozvlákňovače tedy, souží jako prvotní zařízení k separaci těžkých a spřádatelných nečistot samozřejmě vzhledem k charakteru zařízení dochází v rozvlákňovači pouze k hrubému odseparování nečistot. Pro dokonalé odstranění nečistot z rozvlákňované papírenské suspenze slouží další speciální zařízení.

Výsledky této práce jsou využity při konstrukčním řešení nových zařízení a při modernizaci zařízení stávajících.

Summary

Recycled paper processing problematics includes whole scale of technical specializations. There is used chemical engineering, hydraulical flow and fibrous suspension sorting, measuring and regulation of technological processes and at not least line mechanical engineering, solves separate mechanical equipment which starts with pulping, pumping, mixing, defibering a sorting of processed material.

In my work I have done examination of each technological line equipment for processing the waste paper, whereas I have mainly focused on detailed examination of primal arrangement of every technological line – pulper. With the help of Fluent I have done flow calculations in the tanks of horizontal and vertical pulper, whose goal was to appoint optimal shape of the tank. This mainly influences speed of wetting the paper a their pulping.

Firstly, I have designed model 1, which is based on classic tank shape – all manufacturers uses this design. This model serves as basic concept for comparing the results of next model versions made and calculated in program Fluent. In modeling horizontal pulpers I have proceeded the same as in previous case. I have examined, if effect of straght wall done in vertical pupler (model 2 and 4) will have the same result of faster wetting of the paper even in modified horizontal pulper. Calculation proved, that modified horizontal pulper has better results. From flow lines graphical view appears that important parts of tank which influences depulping process are welded ribs on the diameter of tank bottom. These ribs breaks the liquid on the tank's perimeter and causes secondarily turbulences which helps depulping th waste paper. Kinetic energy of rotating liquid is in this case used better. In the next important part – rotor of pulper, I have solved hydraulical design of rotors vane, which also heavily influences the flow. In the next important part – rotor of pulper, I solved hydraulical shape of rotor blade, which mainly influences flow of mixture.

In next important part – pulper rotor, I solved hydraulical shape proposal of blade. From the examination hydralulical flow appears, that production of whirl is mostly depended on rotor with changing profile of the blade and “straight” wall, which creates subtense of rotational shape both tanks. By this straight wall is rotating fluid reflecting and creating back-wave, which supports with its energy to quick drawing-in lists of paper under the water level. This effect accelerates the process of defibering and elevates the power of pulper in tones of processed material per hour.

Theoretical calculation results from shape Model 2, demonstrating the higher effectivity of depupling has been verified in work experience. This type of vertical pulper

with capacity 17 m³, can be replaced depending to previous 25 m³ and there is still power reserve. Time needed for depulping of the charge has improved from previous 35min to 25min. Depulper is able to work from 80 to 120 tons of waste paper.

Results of this work are used in construction solution of new pulpers and in modernization nowadays equipment.

Unwanted admixture included in the waste paper (rest of unwanted material) are spinned by the rotating water vortex and together with other heavy dirt are continually or periodically despatched from pulper tank. Pulpers serves as primary equipment from separation of heavy and spinnable dirt, of course due to character of machinery happens only to hard separating of dirt. For perfect despatching dirt from depulped paper suspension serves other special equipment.

Použitá literatura

- [1] HERBERT H. Handbook of paper and board. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA Weinheim 2006. 505 s.
- [2] HNĚTKOVSKÝ V. a kol. Papírenská příručka. Praha SNTL 1983. 860 s. [3]
- [3] KMECO R.; MÜLLER J. Zpracování sběrového papíru na strojích československé výroby. Vydání první. Praha SNTL 1982. 98 s.
- [4] HNĚTKOVSKÝ V. Zžitkování sběrového papíru jako základní vlákniny v papírenském průmyslu. Praha SNTL 1982. 104 s.
- [5] KOZUBKOVÁ, M. Monografie
- [6] Manuál programu Fluent -
http://spc.vsb.cz/portal/cz/documentation/manual/doc.vsb.cz/Aplikacni%20software/Fluent_6.3.26/html/ug/main_pre.htm
- [7] KOZUBKOVÁ, M. Numerické modelování proudění – FLUENT I. [Online]. c2003. Ostrava: VŠB – TUO, 116 s, poslední revize 6.1.2005, Dostupné z: <URL: <http://www.338.vsb.cz/seznam.htm>>.
- [8] Pačesová J. Česká norma ČSN EN 643. Český normalizační institut Praha 1996. 12 s.
- [9] www.flotrend.com - hydrocyknon
- [10] www.metsopaper.com – papírenská zařízení
- [11] www.voith.com - nízkokonzistenční a vysokokonzistenční rozvlákňovač
- [12] www.papcel.cz - dovlákňovač, nízkokonzistenční rozvlákňovač, hydrocyklon, separátor nečistot
- [13] www.kadant.com - čisticí hruška

Seznam vlastních prací

- [1] Ostřanská, L. – Zpracování sběrového papíru. *Transfer 2008 - Využívanie nových poznatkov v strojárскеj praxi, 10. mezinárodní vědecká konference*. Trenčín: Fakulta špeciálnej techniky, TU v Trenčíně, 2008. ISSN 1336-9695.ISBN978-80-8075-357-3
- [2] Ostřanská, L. - Zušlechťování sběrového papíru. *Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení „DIAGO 2009“*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava a ATD ČR, o.s., Ostrava, 2009. s. 343-350. ISSN 1210-311X.
- [3] Ostřanská, L. - Constructional proposals of the pulper . *Transfer 2009 - Využívanie nových poznatkov v strojárскеj praxi, 11. mezinárodní vědecká konference*. Trenčín: Fakulta špeciálnej techniky, TU v Trenčíně, 2009. ISSN 1336-9695.ISBN978-80-8075-357-3
- [4] Ostřanská, L. – Vířivé třídiče. *Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení „DIAGO 2010“*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava a ATD ČR, o.s., Ostrava, 2010. ISSN 1210-311X.

ŽIVOTOPIS

Osobní údaje:

Jméno: Lenka Ostřanská
Datum narození: 21. 5. 1983
Místo narození: Šternberk
Národnost: česká



Zaměstnání:

2010 – dosud Sigmagroup a. s., Lutín

Vzdělání:

2007 – dosud Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní
• Obor doktorského studia: Stavba výrobních strojů a zařízení
2002 – 2007 Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní
• Obor magisterského studia: Konstrukce výrobních strojů a zařízení
1998 – 2002 Střední průmyslová škola a Obchodní akademie Uničov
• Zaměření: Strojírenství

Zahraniční stáže:

01.2009 – 05.2009 Jonkoping University, Švédsko

CURRICULUM VITAE

Personal data:

Name: Lenka Ostřanská
Date of birth: 21. 5. 1983
Place of birth: Šternberk
Nationality: Czech

Occupation:

2005 – now Sigmagroup a. s., Lutín

Education:

2007 – now Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering
• Field of PhD study: Construction of Production Machines and Equipment
2002 – 2007 Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering
• Field of study: Design of Machines and Equipment
1998 – 2002 Secondary school – SPŠ and OA, Uničov
• Field of study: Machine industries

Foreign residency:

01.2009 – 05.2009 Jonkoping University, Sweden